

Eötvös Lóránd Tudományegyetem Természettudományi Kar
Biológiai Doktori Iskola, Kísérletes Növénybiológia Doktori Program

**AZ EMELT LÉGKÖRI CO₂-KONCENTRÁCIÓ ÉS EGYES
KÖRNYEZETI TÉNYEZŐK HATÁSA AZ ŐSZI BÚZÁRA
(*TRITICUM AESTIVUM* L.)**

Doktori értekezés tézisei

Bencze Szilvia

Témavezető: Dr. Veisz Ottó

Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézete
Martonvásár

2006

Bevezetés

A légköri CO₂-szint az ipari forradalom előtt az évszázadokig szinte változatlan 280 ppm körüli értékről mára már 380 ppm-re emelkedett. Még a legoptimistább előrejelzések szerint is 2100-ra eléri majd a légkörben az 550 ppm mennyiséget, de akár az 1000 ppm koncentrációt is megközelítheti. Az elmúlt évszázad során a Föld átlaghőmérséklete 0,6 °C-kal lett magasabb, 40 %-kal vékonyabbá vált az északi sarkon a jég vastagsága és a tenger szintje is mintegy 12 cm-rel emelkedett. Évente dollármilliárdokat emésztenek fel az egyre gyakoribbá váló időjárási szélsőségek. A klíma változásának számos tényezője érinti a mezőgazdaságot. A magasabb átlaghőmérséklet felgyorsítja a növények fejlődését, melynek a növénytermesztésben rövidebb vegetációs periódus, termés kiesés lesz a következménye. A légkörben növekvő CO₂-szint – bár közvetve az üvegházhatás révén negatív kihatásaival is számolni kell – serkenti a biomassza felhalmozást, és növeli a termést. A gabonafélék érése alatti hőségnapok számának emelkedése – amellet, hogy jelentős termés kiesést okozhat – nagymértékben rontja a termés minőségét is. A csapadék hiánya a magas hőmérséklethez hasonlóan a termés mennyiségét és minőségét is negatívan befolyásolja, míg a túl sok eső elhúzódo éréshez, nagy mennyiségű, de gyengébb minőségű terméshez vezethet.

Dolgozatomban az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetében folyó, globális klímaváltozással kapcsolatos kutatások közül az őszi búzán végzett kísérletek eredményeit tekintem át a tápanyagellátottság, az érés alatti hőstressz és a légköri CO₂-szint változásának következményei szempontjából.

Célkitűzések

Kísérleteink során a következő kérdésekre kerestük a választ:

1. Milyen hatása van a magas légköri CO₂-koncentrációnak a különböző genetikai hátterű, főként magyar őszi búzafajtákra? Milyen morfológiai, fenológiai és a termés mennyiségében és minőségében bekövetkező változások tapasztalhatók kétszeres CO₂-szinten és ezek hogyan függenek a növények tápanyag ellátottságától?
2. Milyen hatása van az érés alatti extrém magas hőmérsékletnek eltérő agronómiai tulajdonságú és genetikai hátterű őszi búzafajtákra? Hogyan hat a nitrogén ellátottság a hőstressztűrő képességre?

3. Tudja-e a magas CO₂-szint a hőstressz káros hatásait csökkenteni, vagy ellensúlyozni, hogyan változik a termés minősége a két tényező kölcsönhatásának következtében? A nitrogénellátottság hogyan befolyásolja az emelt légköri CO₂-szint hatásait a búzafajták hőstressztűrésére?

Anyagok és módszerek

Növénynevelési feltételek és tápanyagkezelések

Kísérleteinket az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének fitotronjában, Conviron PGV-36 növénynevelő klímakamrákban (Controlled Environments Limited, Winnipeg, Canada) végeztük 1999 és 2004 között több lépcsőben. A Martonvásári 15 (továbbiakban Mv 15), a lengyel Alba, az Mv Martina, az Mv Emma és az Mv Mezőföld őszi búzafajtákat vizsgáltuk. A kamrákban a légköri CO₂-koncentráció normál (375 μmol mol⁻¹), illetve a jelenlegi szint kétszerese (750 μmol mol⁻¹) volt.

A fiatalkori fejlődés vizsgálatoknál a talajban benne lévő tápanyagokon kívül a talajba keverve 5 nitrogén (0, 100, 200, 400 és 800 mg kg⁻¹ talaj száraz tömeg) és 5 foszfor (0, 50, 100, 200 és 400 mg kg⁻¹ talaj száraz tömeg) hatóanyag koncentráció 25 féle kombinációja szerint adtunk tápelemeket. A tápanyagellátottság hatásának vizsgálatához a növények a kalászosításig terjedő időszakban, az egyéb makro- és mikroelemeken felül, 10 részletben a **0N**, **0P** (kontroll), a **400N**, **200P**, a **800N**, **200P** és a **800N**, **0P** mg kg⁻¹ hatóanyag koncentráció kombinációja szerinti tápelem mennyiséget kapták száraztalaj kg-onként, csapvizes oldatban. A hőstressz kísérletben a 0 hozzáadott nitrogén (**0N**), illetve 400 mg (**400N**) hatóanyag koncentráció szerint kaptak a növények nitrogént, talaj száraztömeg kg-onként csapvízben oldva a tápanyagellátottsági kísérletnek megfelelően.

Hőstressz kezelés

Mivel az egyes kezeléseknél a növények eltérő időpontban kalászoltak, a hőstressz az egyes csoportokra jellemző átlagos kalászosítási időt követő 12. napon kezdődött, hogy a növények azonos fenofázisban legyenek a kezelés ideje alatt. Ekkor két másik kamrába kerültek a kezelendő növények, ahol a hőmérsékleti maximum 8 órán keresztül 35 °C volt, az éjszakai minimum 20 °C, a napi átlaghőmérséklet 25,2 °C volt. Az összes többi növénynevelési feltétel megegyezett a kontrolléval, ideértve a CO₂-szintet is. 15 napon keresztül kapták a magas hőmérsékleti kezelést a növények, ezután visszakerültek a kontroll csoportba.

A morfológiai, fenológiai és termés mennyiségi adatok meghatározása

A fiatalkori fejlődés vizsgálatnál mértük a növénymagasságot, a hajtásszámot, a levélszámot, a növényenkénti levélfelületet (Automatic Area Meter AAM-7, HAYASHI DENKOH, Tokió, Japán), a hajtás száraz tömegét és a gyökér cserepenkénti száraz össztömegét. Meghatároztuk a hajtás nitrogéntartalmát (Kjeltec Auto Sampler System 1035 Analyser, Tecator, Svédország) és a fotoszintetikus pigment összetételt tiszta acetons kivonat 470, 644,8, 661,6 nm-en mért abszorbanciájának mérésével. A klorofill-a, klorofill-b, összklorofill, és az összes karotinoid tartalmat Lichtenthaler (1987) egyenletei alapján számítottuk ki.

A növények fejlődési stádiumainak elkülönítéséhez a gabonafélékre kidolgozott Zadock skála szerinti besorolást alkalmaztuk (Tottman és Makepeace 1979): A második hajtás megjelenésének, hajtásonként a kalászolásnak és a teljes érettség elérésének idejét jegyeztük fel (Zadock skála szerint 12, 59 és 92). Aratás után mértük a teljes földfeletti hajtástömeget (továbbiakban biomassza), a kalászszaámot, a növényenkénti szemszaámot és szemtermést, ez utóbbi adatokból növényenként számítottuk az ezerszemtömeget, valamint Donald (1962) alapján meghatároztuk a harvest indexet.

A klorofill fluoreszcencia indukció mérése

A fotoszintézis vizsgálatához a kamrákban, fényben meghatároztuk a klorofill fluoreszcencia indukciós paramétereket a legfelső, teljesen kifejlett levelek középső részén, PAM-2000 fluorométerrel (Walz, Effeltrich, Németország). A második fotokémiai rendszer kvantumhatásfokának ($\Delta F/F_m'$) meghatározása Genty és mtsai. (1989) alapján történt. A klorofill fluoreszcencia indukciós paraméterek esetében a van Kooten és Snel (1990) által leírt nomenklatúrát követtük.

A szemtermés minőségének meghatározása

A teljesörlemény fehérjetartalmát Kjeltec Auto Sampler System 1035 Analyseren (Tecator, Svédország) szárazanyag tartalomra és 5,7 faktossal átszámítva határoztuk meg (ICC 105/2 szabvány). A nedvesség tartalmát lisztből az ICC 137/1 szabvány alapján mértük, a glutén indexet az ICC 155 szabvány (Perten módszere) alapján számítottuk ki.

Alkalmazott statisztikai módszerek

Az adatokat két-, illetve háromtényezős varianciaanalízissel, valamint kétmintás Student féle T-próbával értékeltük.

Eredmények összefoglalása

Eltérő genetikai hátterű őszi búzafajtákon tanulmányoztuk az emelt légköri CO₂-szint, a nitrogén-és foszforellátottság és az érés alatti magas hőmérséklet hatásait és kölcsönhatásait fitotroni kísérletekben, kontrollált körülmények között. Megállapítottuk, hogy az egyes genotípusok egymástól eltérő reakciói, valamint a környezeti tényezők változása magyarázattal szolgálhatnak több, az irodalomban megtalálható, egymásnak ellentmondó eredményre.

Főbb eredményeink az alábbiakban foglalhatók össze:

A kétszeres CO₂-szint és a tápanyagellátottság kapcsolata

- Összehasonlítottuk a magyar Mv 15, és a lengyel Alba fajta bokrosodáskori reakcióit a kétszeres légköri CO₂-koncentráció hatására, és kimutattuk, hogy az Mv 15 fajtánál a hajtásszám nőtt meg, míg a nagyobb zöldtömeget képező Albánál magasabbra nőttek a növények az emelt légköri CO₂-szint hatására.
- A kétszeres légköri CO₂-szinten intenzívebb lett a fotoszintézis, nagyobb volt a biomassa felhalmozás mértéke. Igazoltuk, hogy a növények fejlődése szempontjából optimális talajnitrogén-szint a nagyobb koncentráció felé tolódott el, és az optimum körül volt a legnagyobb a CO₂-emelés hatása (a gyökér tömege kivételével).
- Alacsony nitrogénellátottság mellett kétszeres légköri CO₂-szinten a földfeletti biomassa mennyisége nem lett nagyobb, azonban a gyökér tömege maximális mértékben gyarapodott, a növekvő tápanyagigény következtében.
- Bizonyítottuk, hogy az optimum feletti talajnitrogén-szinteknél a nitrogén gátló hatását a CO₂ magas koncentrációja mérsékelni tudta. Kimutattuk az Alba fajtánál a foszfor növekvő koncentrációjának szerepét is a legmagasabb talajnitrogén tartalomnál tapasztalt gátló hatás csökkentésében.
- Igazoltuk, hogy a CO₂-emelés hatására a hajtásban gyakorta fellépő nitrogéntartalom csökkenés csak a nitrogénoptimum feletti és alatti tartományban nagyobb mértékű, mert az optimum környékén tudják a növények legjobban megőrizni a harmonikus tápelem összetételt, az ideális C-N arányt.

- A levél fotoszintetikus pigmenttartalmának alakulása alapvetően a genotípus által meghatározott volt, az Albánál az emelt légköri CO₂-szint nem befolyásolta, míg az Mv 15-nél a kétszeres légköri CO₂-koncentráción a talajnitrogén kezelések széles tartományában (a legnagyobb, 800 mg/kg szintet kivéve) stabil szinten maradt. A jelenlegi CO₂-szinten azonban (az Albához hasonlóan) a klorofillok és a karotinoidok mennyisége a nitrogénellátottsággal arányos volt.
- Elsők közt igazoltuk a növények kalászolásának megváltozását az emelt légköri CO₂-koncentráción. Kimutattuk, hogy kedvező nitrogénellátottság mellett a kalászolás néhány nappal később kezdődött mindhárom vizsgált fajtánál, üteme azonban gyorsabb volt az Mv Martinánál és az Mv Emmánál, ahol a kalászok száma is megnőtt. Alacsony nitrogénellátottságon a kalászok száma nem különbözött a két CO₂-szinten, azonban azok gyorsabban jelentek meg kétszeres CO₂-on az Mv Martinánál és az Mv Mezőföldnél, míg az Mv Emma kalászolási jellemzői nem változtak meg.
- Elsőként vizsgáltuk az emelt légköri CO₂-szint hatásait az érésre. Kimutattuk, hogy a legkésőbb a kedvező nitrogénellátottságú, kétszeres légköri CO₂-szinten tartott növények kezdtek érni. A teljes érettség elérésekor azonban már csak egy fajtánál, az Mv Mezőföldnél volt meg ez a szignifikáns különbség, az érés folyamatának magas CO₂-szinten tapasztalt lerövidülése miatt.
- Bizonyítottuk a foszfor szerepét az egyes fejlődési stádiumoknál is, a második hajtás megjelenését a foszfor jelenléte felgyorsította, azonban a kalászok érését néhány nappal kitolta. Kimutattuk továbbá azt is, hogy foszforhiánynál a termés minősége gyengébb volt magas nitrogénellátottság ellenére is.
- Bizonyítottuk, hogy a kétszeres légköri CO₂-koncentráció a szemszámot és a szemtömeget külön-külön és egyszerre is megnövelheti. Magyarázattal szolgáltunk arra is, hogy az irodalomban elvéve leírt jelenség, a CO₂-emelés hatására fellépő ezerszemtömeg csökkenés a magas tápanyagszint és kétszeres légköri CO₂-koncentráció kölcsönhatásának következtében léphet fel, mivel a megugró szemszámhoz képest lecsökken az egy szemre jutó szervesanyag mennyiség.
- A termés mennyisége általában nőtt kétszeres légköri CO₂-szinten, azonban fajtától és tápanyagkezeléstől függően arra is volt példa, hogy csak a biomassza mennyisége lett nagyobb, de ez a termés növekedésében nem jelentkezett.

- Igazoltuk, hogy a szemtermés minőségére az emelt légköri CO₂-szint a genotípustól függően fejtette ki hatását. Alacsony tápanyagellátottság mellett csökkent a szem fehérjetartalma, két genotípusnál a sikér mennyisége és a glutén index, gyengült a minőség, azonban a kiváló termésminőséget adó fajta, az Mv Emma minősége összességében nem lett rosszabb. Magasabb tápanyag szinten azonban csak egy fajtánál, az Mv Mezőföldnél lett gyengébb a szemtermés minősége a kétszeres légköri CO₂-szinten.

A hőstressz hatása

- Kísérleteinkkel igazoltuk, hogy a hőstressz hatására korábban értek a növények, csökkent a biomassa és a szemtermés mennyisége. A termés minőségének változását azonban a genotípus sajátosságai is befolyásolták, az Mv Martinánál ugyanis a többi fajtával ellentétben nem gyengült a szemtermés minősége a hőstressz hatására.
- Vizsgálatainkkal kimutattuk, hogy a hőstressz szemtermést csökkentő hatása kisebb mértékű volt az alacsony nitrogénszinten, mint normál nitrogénellátottságnál, azonban a vizsgált paraméterek szerint (fehérje- és sikértartalom, glutén index) a szemtermés minősége fajtától függően vagy a 0N×hőstressz, vagy a 400N×hőstressz kezelésnél volt jobb.

A hőstressztűrés változása a nitrogénellátottság és a magas CO₂-szint hatására

- Igazoltuk, hogy az emelt légköri CO₂-szint csökkentheti a hőstressz káros hatásait a biomassa és a termés mennyiségi jellegekre.
- A normál nitrogénellátottságon, a hőstresszkezelt növényeknél a szemtermés fehérje- és sikértartalma kétszeres légköri CO₂-koncentráción vagy alacsonyabb volt, mint a jelenlegi szinten, vagy nem változott meg, míg a sikér minőségében nem volt számottevő változása magas CO₂-szint hatására.
- A növények szemtermés mennyiségi és minőségi paraméterei általában az alacsony nitrogénellátottságnál és kétszeres CO₂-koncentráción adott hőstresszkezelés hatására közelítették meg legjobban a normál nitrogénszinten és hőmérsékleten, jelenlegi CO₂-koncentráción kapott értékeket.

Következtetések

Kísérleteink azt bizonyítják, hogy nem elegendő egyetlen fajtát vizsgálni ahhoz, hogy megértsük a klímaváltozás gabonafélékre gyakorolt hatásait. Magyarországi példával illusztráltuk, hogy egyetlen fajon belül, és egy meglehetősen kis régió köztermesztésében lévő, helyileg nemesített fajtái között is egymástól igen eltérő reakciótípusok találhatók. A fentiekben bemutatott, genotípusok között tapasztalt különbségek lehetőséget nyújtanak a megváltozó környezeti feltételek mellett is jobb alkalmazkodóképességgel rendelkező génkombinációk hagyományos nemesítési módszerekkel történő létrehozására és új fajták előállítására.

Irodalmi hivatkozások

Donald, C.M. 1962. In search of yield. J Austr Inst Agric Sci 28, 171-178.

Genty, B., Briantais, J.-M., Baker, N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Biochem Biophys Acta, 990, 87-92.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and Carotenoids, Pigments of Photosynthetic Biomembranes. Methods in Enzymology 148, 350-382.

Tottman, D.R. and Makepeace, R.J. 1979. An explanation of the decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. Ann Appl Biol 93, 221-234

Van Kooten, O. and Snel, J.F.H., 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. Photosynth Res 25, 147-150.

A tézisek alapjául szolgáló, tudományos publikációk

1. Referált tudományos folyóiratban megjelent dolgozatok

Bencze S., Veisz O. Janda T. and Bedő Z. 2000. Effect of elevated CO₂ level and N and P supplies on two winter wheat varieties in the early developmental stage. Cereal Res Commun 28. 123-130. IF: 0,173

Harnos, N., **Bencze, S.**, Janda, T., Juhász, A. and Veisz, O. 2002. Interactions between elevated CO₂ and water stress in two winter wheat cultivars differing in drought resistance. Cereal Res Commun 30, 359-366. IF:0,235

Bencze, S., Veisz, O. and Bedő Z. 2004. Effects of high atmospheric CO₂ and heat stress on phytomass, yield and grain quality of winter wheat. Cereal Res Commun 32, 75-83. IF: 0,220

Bencze, S., Veisz, O. and Bedő Z. 2004. Effects of high atmospheric CO₂ on the morphological and heading characteristics of winter wheat. *Cereal Res Commun* 32, 233-240. IF: 0,220

Veisz, O., **Bencze, S.**, Janda, T., Páldi, E. and Bedő, Z. 2004. Changes in the activity of antioxidant enzymes in cereal species during the winter. *Cereal Res Commun* 32, 493-500. IF: 0,220

Bedő Z., Láng L., Veisz O., Vida Gy., Karsai I., Mészáros K., Rakszegi M., Szűcs P., Puskás K., Kuti Cs., Megyeri M., **Bencze Sz.**, Cséplő M., Láng D., Bányai J. 2005. Breeding of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) for different adaptation types in multifunctional agricultural production. *Turk J Agric For*, 29, 151-156.

Bencze, S.- Veisz, O. - Bedő Z. 2005. Effects of elevated CO₂ and high temperature on the photosynthesis and yield of wheat. *Cereal Res Commun* 33, 385-388. IF: 0,200

Veisz, O. - **Bencze, S.** - Bedő Z. 2005. Effects of elevated CO₂ on wheat at various nutrient supply levels. *Cereal Res Commun* 33, 333-336. IF: 0,200

Veisz O. - **Bencze Sz.** 2005. Klímaváltozás és a kalászosok stressztűrő-képessége. „Agro-21” Füzetek 46, 3-17.

Bencze Sz. és Veisz O. 2005. A búza környezeti stressz rezisztenciája emelt légköri CO₂-koncentráción. *Növénytermelés* (in press).

Bencze, S. - Bedő, Z.- Veisz. O. 2006. Variation in the leaf composition of winter wheat varieties due to soil nitrogen content and elevated atmospheric CO₂ level. *Cereal Res Commun* (in press).

2. Önálló tudományos könyvek, tudományos könyvek részletei

Bencze Sz., Janda T., Veisz O. 2002. A makrotápelem ellátás és a megnövelt légköri CO₂-koncentráció hatása az őszi búzára. In: *A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában.* (Szerk.: Sutka J., Veisz O.) 63-70.

Veisz O., **Bencze Sz.**, Szalai G. és Bedő Z. 2002. A fagyállóságért felelős kromoszómák szerepe a megnövelt légköri CO₂ hasznosulásában. In: *A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában.* (Szerk.: Sutka J., Veisz O.) 343-345.

3. Konferencia kiadványok, konferencia összefoglalók

G. Szalai, T. Janda, **Sz. Bencze**, N. Harnos, O. Veisz and E. Páldi 1998. „Changes in the activity of antioxidant enzymes in wheat plants during frost hardening.” In: *Crop Development for Cool and Wet Climate of Europe* (Manuel Sánchez-Díaz, Jusan José Irigoyen, Jone Aguirreola, Klaus Pithan eds.) COST 814-II. Pamplona, Spain Oct. pp. 368-375. (1998)

Bencze Sz., Veisz O. és Bedő Z. 2000. A megnövelt légköri CO₂-koncentráció, a nitrogén és a foszfor hatása két őszi búzafajta fiatalkori fejlődésére. V. Magyar Ökológus Kongresszus 1. rész. *Acta Biol. Debr. Oecol. Hung.* 11/1, p. 195.

- Harnos N., **Bencze Sz.**, Veisz O. 2000. Interactive effects of elevated CO₂ and drought on winter wheat. 6th International Wheat Conference 5-9 June 2000, Budapest, Hungary, Abstracts, p. 208
- Rios, G. K., **Bencze Sz.**, Janda T., Veisz O., Bedő Z. 2001. Antioxidáns enzimek aktivitásának változása stressz körülmények között különböző gabonafajtákban. VII. Növénynevelési Tudományos Napok, 2001. január 23-24, Összefoglalók p. 40.
- Veisz O., **Bencze Sz.**, Harnos N., Vida Gy., Bedő Z. 2001. Combined effect of increasing atmospheric CO₂ concentration and temperature on the yield and quality of wheat. Abstracts The times they are a-changin, Wageningen, The Netherlands, 5-7 December 2001, p. 94
- Bencze, S.** and Veisz, O. 2004. Some aspects of the effects of global climatic change on wheat development. Proceedings of the III. Alps-Adria Scientific Workshop, 1-6 March, Dubrovnik, Croatia (Eds.: Sz. Hidvégi, Cs. Gyuricza), pp. 67-71.
- Bencze, S.**, Rakszegi, M. and Veisz O. 2004. Responses of wheat genotypes to high temperature. Genetic variation for plant breeding, Proceedings of the 17th EUCARPIA General Congress, 8-11 Sept. 2004. Tulln, Austria. (eds.: J. Wollmann, H. Grausgruber, P. Ruckebauer) pp. 27-30.
- Veisz O., Sellyei B., **Bencze Sz.** Vida Gy. és Bedő Z. 2004. Őszi kalászosok stressztűrése szélsőséges klimatikus feltételek között. X. Növénynevelési Tudományos Napok MTA Budapest, Február 18-19. Összefoglalók, p. 170.
- Veisz, O., Vida, G., **Bencze, S.**, Láng, L. and Bedő, Z. 2004. Role of varieties resistant to abiotic stress factors in reliable wheat production in Hungary. Genetic variation for plant breeding, Proceedings of the 17th EUCARPIA General Congress, 8-11 Sept. 2004. Tulln, Austria. (eds.: J. Wollmann, H. Grausgruber, P. Ruckebauer) pp. 371-374.
- O. Veisz, **S. Bencze**, G. Vida 2005. Changes in the abiotic stress tolerance of wheat as the result of increased atmospheric CO₂ concentration. Proceedings of the 7th International Wheat Conference, 28 Nov- 2 Dec. 2005, Mar del Plata, Argentina (in press).
- O. Veisz, **S. Bencze**, G. Vida and Z. Bedő 2005. Abiotic stress tolerance of wheat under different atmospheric CO₂ concentrations. Proceedings of the 56th Conference of the Austrian Association of Plantbreeders and Seedsmen, 22-24 Nov. 2005, Gumpenstein/Styria Austria (in press).